

Акустотермические эффекты при резонансных колебаниях газа в трубе исследовали Saenger и Hudson (1960), Гуляев и Кузнецов (1963), Галиуллин и Ревва (1982), Merkli и Thomann (1975), Rott (1974), Bergh и Tijdemann (1965) и другие авторы.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы "Интеграция".

Литература

1. Ilgamov M.A., Zaripov R.G., Galiullin R.G., Repin V.B. Non-linear gas oscillations in a tube // Appl. Mech. Rev. – 1996. – V. 49. – N 3. – P. 137–154.
2. Галиев Ш.У., Ильгамов М.А., Садыков Г.В. О периодических ударных волнах в газе // Известия АН СССР. МЖГ. – 1970. – № 2. – С. 57–66.
3. Ilgamov M.A., Zaripov R.G. Non-linear gas oscillations in a pipe // J. Sound and Vibr. – 1976. – V. 46. – N 2. – P. 245–247.
4. Chester W. Resonant oscillations in closed tube // J. Fluid Mech. – 1964. – V. 18. – N 1. – P. 44–64.
5. Aganin A.A., Ilgamov M.A., Smirnova E.T. Development of longitudinal gas oscillations in a closed tube // J. Sound and Vibr. – 1996. – V. 195. – N 3. – P. 359–374.
6. Васильев Л.С., Зарипов Р.Г., Марсумова А.Т., Сальянов О.Р. Экспериментальное исследование внешнего волнового поля у открытого конца трубы // ИФЖ. – 1991. – Т. 61. – № 8. – С. 714–716.
7. Van Wijngaarden L. On oscillations near and at resonance in open pipes // J. Engng. Math. – 1968. – V. 2. – N 3. – P. 225–240.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЗАДАЧ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ГРУНТОВЫМИ СРЕДАМИ

Кибец А.И.

НИИ механики при Нижегородском государственном университете

Рассматриваются трехмерные нестационарные задачи соударения сложных составных конструкций с грунтовыми средами. Конструкция может включать в себя массивные тела, оболочки и стержни. В процессе соударения допускаются большие смещения и упругопластическое деформирование конструктивных элементов.

Определяющая система уравнений записывается в переменных Лагранжа. Уравнения состояния формулируются отдельно для шаровых и девиаторных компонент тензоров напряжений и деформаций. Для шаровых составляющих деформаций и напряжений используются уравнения деформационной теории, связывающие давление и плотность среды и имеющие для грунтов разный вид при нагрузке и разгрузке. Для девиаторных составляющих деформаций и напряжений используются соотношения теории пластического течения. Движение массивных тел и оболочек рассматривается с позиций механики сплошных сред. При описании движения стержней используются гипотезы теории Тимошенко. Контактное взаимодействие конструкции и грунта моделируется условиями непроникания.

Для решения задачи используется метод конечных элементов и явная конечно-разностная схема интегрирования по времени типа "крест". Расчетная область разбивается 8-узловыми конечными элементами, в вершинах которых определяются перемещения и скорости перемещений в общей системе координат. Скорости деформаций и напряжения определяются в локальном базисе, отслеживающем движение КЭ как жесткого целого. Скорости деформаций аппроксимируются линейными функциями в виде суммы безмоментных и моментных составляющих. Последние вводятся в численную схему с весовыми коэффициентами, величины которых варьируются от 0 до 1. В частности, в грунтовых средах все весовые коэффициенты перед моментными составляющими скорости деформаций приравняются единице, а при интегрировании уравнений движения (вычислении узловых сил) используется квадратура Гаусса-Лежандра. Узловые силы перед суммированием по конечным элементам расчетной области проецируются на оси общей системы координат.

Как известно, схема интегрирования по времени типа "крест" не обладает свойством монотонности и на сильных разрывах приводит к значительным осцилляциям численного решения. Для подавления осцилляций наряду с традиционной искусственной вязкостью (линейной, квадратичной, тензорной) применяется консервативное сглаживание. Методика сглаживания ориентирована на конечно-элементные сетки, состоя-

щие из блоков – топологических шестигранников ("кубиков"), и использует расщепление численного решения по направлениям линий КЭ-сетки. Алгоритм сглаживания основан на законе сохранения импульса и строится следующим образом. В середине ребер конечных элементов заводятся корректирующие потоки, определяемые градиентом скоростей перемещений в их вершинах. В областях монотонного изменения скоростей значения потоков зануляются. Вычисленные потоки вводятся в дискретный аналог уравнений движения и распределяются по вершинам ребер. Операции сглаживания узловых скоростей перемещений выполняются последовательно по всем трем направлениям линий конечно-элементной сетки. При этом на каждом шаге используется поле скоростей, скорректированное на предыдущем этапе. Для того чтобы регулировать влияние процедуры сглаживания на численное решение, корректирующие потоки вводятся в уравнения движения с весовыми коэффициентами, величины которых выбираются в интервале от 0,05 до 0,2, в зависимости от особенностей рассматриваемого процесса.

Для анализа точности разработанной методики решен ряд задач. В частности, исследовалось проникание упругого шара в песчаный грунт. Расчет проводился при начальной скорости соударения 495 м/с. Достоверность полученных результатов подтверждается данными натурного эксперимента. Установлено, что применение лагранжевых сеток в данной задаче позволяет исследовать только начальную стадию удара, которая прерывается "перехлестом" конечных элементов в зоне контакта. Благодаря методике консервативного сглаживания численного решения исследуемый промежуток времени процесса проникания существенно увеличивается. Рассмотрено падение на грунт контейнера при его различной ориентации в пространстве в начальный момент времени. Проанализированы временные зависимости интегральной контактной силы и перегрузки на расположенном внутри контейнера образце.

Работа выполнена при финансировании РФФИ по Программе поддержки ведущих научных школ России, грант 96-15-98156.